

【附件三】教育部教學實踐研究計畫成果報告格式(系統端上傳 PDF 檔)

教育部教學實踐研究計畫成果報告(封面)

Project Report for MOE Teaching Practice Research Program (Cover Page)

計畫編號/Project Number：PEE1090454

學門專案分類/Division：工程

執行期間/Funding Period：109/8/1~110/7/31

(計畫名稱/翻轉熱力學－多元化教學對 e 世代學子之學習影響)
(配合課程名稱/材料熱力學)

計畫主持人(Principal Investigator)：曾院介

共同主持人(Co-Principal Investigator)：無

執行機構及系所(Institution/Department/Program)：陽明交大材料系

成果報告公開日期：

立即公開 延後公開(統一於 2023 年 9 月 30 日公開)

繳交報告日期(Report Submission Date)：110/8/3

(計畫名稱/Title of the Project)

一. 報告內文(Content)(至少 3 頁)

1. 研究動機與目的(Research Motive and Purpose)

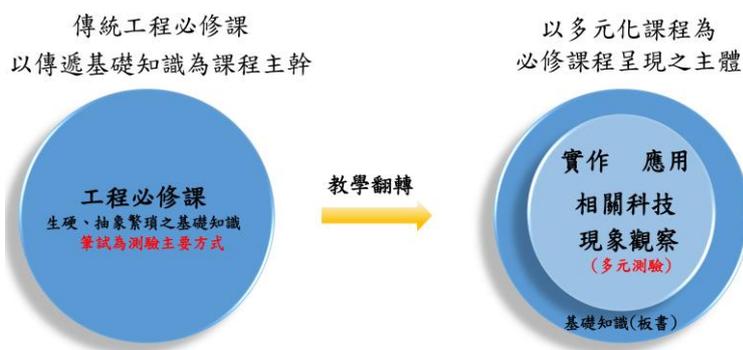
現今的學生是「e 世代」，他們具有高度「社會化」、「多元化」和「資訊化」的特質。傳統工程基礎的課程是基於硬性和抽象的基礎知識，而 e 世代的學生沉浸在大量的社群環境中，但來到教室面對的卻是抽象概念和複雜計算的課程。這使他們感到困惑。作者所教授的熱力學是材料科學工程系的大二必修課，這門課程很抽象，有非常繁雜的數學公式和抽象科學概念。在過去的三年裡(自 2018 年起)，作者在結構上改變了這門課程的教學場警—採用動手操作、現象觀察、輔助教學、專題實作來呈現課堂的主體。課堂經營打破講台的框架，授課者邀請學生協同教學、改良實作單元、成果發表、設計期中考題。這些活動約占課堂的 1/3。這個改變的第一個優點是使學生能自然地使用他們的學習行為進行學習，第二個優點是能將課堂所學具體的連結到真實的科技應用，在整體上達到事半功倍的效果。學生也間接建立了解決問題、團體合作、工具使用、自主決定、發揮創造力等能力。自從課堂作出此改變後，修課同學的背景從原本的本系的大二學生，人數約 50 人，漸漸擴增到 70~75 人，多出來的學生不僅是外系大學部學生，甚至含外系高年級研究生，並且出席率從 75%漸漸提升到 85%，這證實經過翻轉過的教學結構的確提升了學生的學習興趣。

2. 文獻探討(Literature Review)

計畫主持人以實作、現象觀察、教具使用、科技應用，以專題式學習 (project-based learning, PBL) (Blumentfeld (1991) [1] & Thomas (1999) [2]) 呈現課程的主體，將傳統講學手段轉為輔佐。作者採用 TPACK 教學概念 (TPACK, Mishra (2006) [3]和 Rosenber (2018) [4])，引進多媒體、電腦程式、社群網站來活化課程。

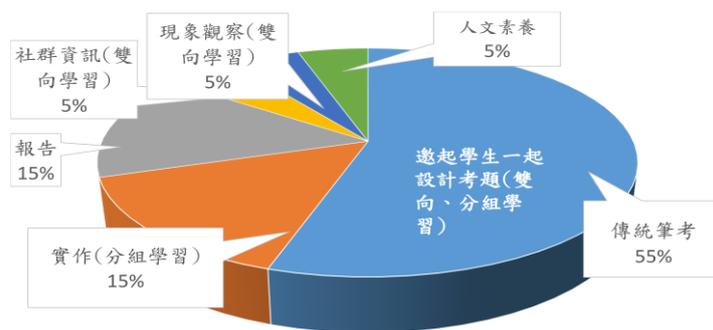
3. 研究問題(Research Question)

計畫主持人嘗試翻轉了必修課之教學現場，以實作、現象觀察、應用、相關科技介紹為課堂知識的呈現主體，而將傳統的講學轉為輔佐，搭配多媒體、電腦程式、社群網站經營、多元化測驗等手段，迎合 e 世代浪潮的挑戰。圖一為作者的翻轉教學理念的呈現。作者認為這種教學方式能配合學生的 e 行為模式，同時降低課程中因理想假設成分偏高導致學生產生學習上的茫然。



圖一、教學現場翻轉之教學理念示意圖

意識到學生的學習方式改變是整個教學問題之核心，作者參考Wolf (2012) [5] and Ryan (2000) [6]，以學習者為中心的理念執行教學。作者將教學場域規則放寬，讓老師不再只是老師，學生不再只是學生。作者執行協同教學，這讓學生換位思考，自己當課堂老師教導同學，誘發學生在透過教學時能有更清楚的觀念與思路，鼓勵學生透過與老師共同授課，使學生從單純聽課者轉為教學者。執行方式由學生與老師相輔助完成一個章節的教學，由學生講述較簡單的段落，較困難的段落則由作者負責。學生要執行共同教學，需要預先看作者預先錄製的開放式課程，自行吸收知識並與作者開教學討論小組會議，這個過程讓他們學習組織、表達知識。作者尊重協同教學學生想執行教學的方式並予以配合。作者針對此教學活動作回饋，發現與作者執行協同教學者，主觀認為這個教學活動訓練他們系統性思考的能力，誘發學生的思考靈活度，而台下的學生普遍認為由學生上課可以為課堂注入新的教學活力，使課堂氣氛活絡化。本課程之測驗方式落實此教學理念，採多元化評比，如圖二所示。其中人文素養部分乃邀學生共讀建立熱力學理論之科學家生平，並請學生撰寫心得。



圖二、「以學習者為中心之教學理念」的測驗方式；降低傳統筆考比重，增加多元測驗比重，甚至加入人文素養訓練，筆考部分邀請學生共同出題，以達到分組、雙向學習等原則。

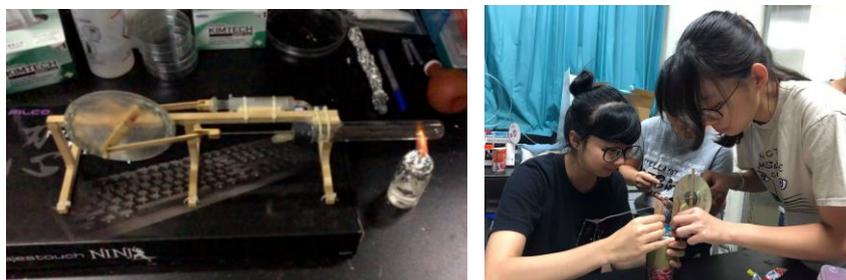
4. 研究設計與方法(Research Methodology)

(一) 校外教學

作者放寬了教學領域的規則，使教學不局限於教室。例如，作者和作者的同事的授課班級一同組織了一次實地考察。由於我們倆者的課程都介紹了材料晶體學概念，我認為參觀附近的國家同步輻射研究中心（NSRRC）是個好的校外教學想法，因為同步輻射是分析材料晶體結構的有力工具。在參觀之前，作者與同事充分討論了在我們課堂上介紹的材料晶體學概念。然後我們在各自的課堂上介紹了同步輻射，並將其與課程中介紹材料晶相概念連結起來。之後，作者和同事調查了NSRRC中可以分析材料晶相的光束線。然後作者要求國家同步輻射安排一次實地考察，帶領學生參觀這些光束線，並請這些光束線的研究人員給予學生專業講座。另一方面，透過作者個人與工業界的關係，作者也組織過一次實地考察，參觀一家半導體公司。作者提前與該公司溝通了將在工廠參觀的半導體設備，並在課堂上介紹這些背景知識，以確保學生在參觀公司時知道這些技術術語。學生在教學評鑑中高度讚賞校外教學的規劃，說實地考察的經歷讓他們把課本上的抽象知識與實際的高科技產品連結起來。

（二） 實作專題

作者透過專題實作將課程讓學生體悟在真實世界可能遇到的挑戰，並認同基礎知識在解決這些挑戰的重要性。以史特林引擎(Stirling Engine)專題為例，我以趣味性的方式將熱力學知識與應用結合，這減少了課程的枯燥性，另一方面，藉由實作過程中會遇到的困難和問題，學生會跳脫書本的框架，自我省思並發現實際的工程問題含有多層面向並且具有跨領域特色，但每一個面向在背後都具有相對應的基礎知識，而要解決問題，必須靈活地運用所學知識。這不同於傳統教學主要強調記憶。



圖三、本課程已實際執行之史特林引擎專題，右圖為學生從事專題製作之實況。

（三） 程式設計

進入第二學期，因學生的先備知識較足夠，我將課程納入數位應用，學習使用軟體製作熱力學相圖(thermodynamic phase diagram)。軟體所繪的圖形遠較課本複雜和多元化，考慮的計算參數在理解上本身就有一定難度，這使學生能體認真實世界的

科學層面和深度遠超過課本的基本學理。我評估完成專題所需的人力，將全班分組執行專題。我發現這可以同時增加學習效率和讓學生體認團隊合作。透過專題實作讓科學觀念鮮明地植入學生的記憶中，使專題實作一直都是本堂課最被肯定的教學活動。作者針對專題實作與程式設計作獨立的教學回饋，發現期數值一直都高於本堂課整體的教學回饋數值，這證明它們是本堂課具有最高果效的教學活動。這種教學理念是使用 Miller (1987) [7] 和 Brown (1989) [8] 提出的情境教學理論。

(四) 善用助教團隊活絡教學

作者自行培訓了四名研究生作為教學助理 (TA)。作者組織他們為學生提供定期課程諮詢。起初，學生可以在每週 2 小時的 TA 時間內與助教討論。初期助教們抱怨，他們不確定學生會帶來什麼問題。學生們也抱怨他們沒有得到他們想要的答案，也覺得諮詢時間不夠。為了解決這個問題，我在與助教們的例行會議上提出了一個解決方案。首先，我們把四個助教的諮詢時間分開，給一個助教每週兩次諮詢時間，而每次諮詢只開放 20 分鐘，這意味着每週有八個諮詢時間給學生。這樣一來，每個想問具體問題的學生都能找到他們需要的時間段。為了有效地實施這種方法，我要求助教們設計一個網路表格，讓學生預約他們想要的時間段，並寫下他們想問的一般性問題。此外，作者也要求助教在每節課後紀錄諮詢的細節，並在學期末進行彙整，作為下一學年課程能更完備的參考。透過這個過程，諮詢的品質很明顯得到了提升。

5. 教學暨研究成果 (Teaching and Research Outcomes)

計畫主持人教授的 "材料熱力學" 採用筆試、書面報告、實作結果進行評分。因為該課程有多種教學活動，所以我根據活動量在最終成績中列入不同的百分比。這樣做的目的是為了重視學生的多樣性，讓各種能力得到均衡發展。作者要求助教群建立一個網路的問題回答平台。如果學生提出一個簡單的問題，通常會由助教在平台上直接回答。如果作者意識到學生的問題具有廣泛性，例如筆記中的某一章節有錯誤，或作業中的某一問題題意不清楚，作者則會透過學校的網路課程平台公布更正的訊息。考試前，作者將用一節課的時間複習考試內容，並安排一個下午讓學生來提問。作者會要求助教在當天下午整理學生的問題和答案，並在課程平台上發布訊息。以下是某學生的評論：「我非常感謝老師和助教對學生學習的饋。當我對一個學習概念感到困惑時，如果不能在短時間內解決這個困惑，我就很難繼續下去。曾教授和助教們的回饋機制非常及時，解釋也很清楚，這讓我在這門課上保持了良好的狀態。這讓

我有信心在下個學期選修進階的相關課程。」

在史特林引擎 (Stirling Engine) 專題中，作者給自行設計發動機的團隊起評分比基本模型高，因為它的設計難度較高。作者訓練助教團隊，使每個助教都必須能夠獨立製作史特林引擎。當學生提出自我設計的想法時，作者要求助教先審查方案，要求他們判斷設計理念是否符合自我設計的要求，或者只是對基本模型做了些微改變，因為這同時影響到給分的公正性。全班同學觀看了自我設計者的成果展示，當場用線上軟體評分，評分依據是：(a) 設計創意和展示風格，(b) 運轉流暢。由於全班一起打分，主觀偏好減少，獨立教學問卷顯示，學生們一致認為全班評分比教師獨立評分更公平。

教學成果總結如下。

壹、 建立有效的學習環境

作者申請了教學精進計畫聘額外助教，總共四位助教成立此課程的教學團隊，透過軟硬體提升教學環境。在硬體層次，作者安排學生分組分時段至作者本人的研究室執行實驗。因為可以選擇製作基本款或進階款，基本款材料由助教統一採購，進階款則由學生自行採購，皆由作者的研究經費支付。實作課程事前預先公告研究室能提供的工具，讓選擇自行設計組的學生評估是否能支援他們想做的引擎。在相圖程式設計課程，需配合課程進度，於學期初就預借電腦數足容納本班的計算機教室，並在課堂前確認所有的電腦都安裝教學用到的軟體。在軟體方面，助教群負責與我編纂講義、實作課程前與學生的討論，實作過程引導，並確保實驗安全。實作實施隔年，學生反應希望能有影片教學，更能提升實作成功率。隔年後隨即採講義搭配影片教學，在教學回饋上獲得具體的滿意度提升。在教學回饋分析中，助教群協助作者使用線上資料庫，進行分組意願調查、期末成果發表的即時評分、教學回饋進階數值分析。每年期末作者與助教群都會檢討整學期教學意見，更新助教工作的標準工作流程，讓助教經驗在傳承上可以進步，達成永續經營課堂的理念。因為課堂人數眾多(>70人)，在教學活動上作者一律採分組以提高學習效率。

雖然學生在 FB 平台上討論熱烈，但在面對面的課堂上，學生一向不傾向表達自己的意見。為了解決此問題，作者嘗試增加課堂的多樣性來提升學生問問題的動力。作者曾架設簡單的實驗；我請一位學生按照我的指示執行實驗，並要求台下學生仔細觀察現象，並提出問題。這個過程讓單調的課堂被具有活潑氣氛的實驗觀察取代，這使得學生在公眾面前發言的壓力減小，跟沒有進行實驗的教學現場比較，學生明顯地願意在公眾面前提出自己的看法。作者也曾安排曾修過本課，具有博士學位，已在專業領域服務的畢業生至課堂分享。這促進高等教

育者的參與，一來鼓勵該畢業生透過教學分享增進自己的學習歷程，二來由過來人反映這門課的訓練在日後專業領域的成效，提升台下學生對於課程的認同。作者會事先公告畢業生要來分享學習歷程的日期，作者發現該堂課的出席率比例常課還高，這意味由第二位專業人士現身說法可以吸引學生學習。

貳、 參與學科及其教學法的持續發展，並納入研究與學術活動

作者參加了教學坊，並被邀請審查校內教學改進計畫的申請。作者參加過幾次校內教學獎，透過提案提案和口頭報告向評審委員會介紹了作者的教學理念和方法。作者曾經擔任工學院傑出教學獎評審委員。作者是第一位在委員會中建議將獲得國際教學認證當作教學獎勵重要指標的委員。作者向教育部申請了教學實踐研究計畫，目的是透過作者本身的教學經驗提高教學質量和學生學習意願。該計畫是透過課程設計、教材、教學方法或引進教具、高科技媒體，並使用適當的研究方法和評估工具，驗證學習效果的過程。作者從校內的計畫初評受益匪淺一校內初評過程讓作者檢查自身的概念是否合理。在初評建議中，對作者最有幫助的是委員建議一個能具體化教學精進的分析方法，使作者能夠量化教學現場改變對教學質量的影響。在計畫撰寫中文獻的引用讓作者對教育理論有基本的了解。

作者結合統計學和文字回饋，獨立分析每個教學活動的有效性（Ahlfeldt（2005）[9] & DeMonbrun（2017）[10]）。使用同樣的分析方法，作者可以分析學生對教學活動本身和對教學活動中採用的評分方法的滿意度。例如，在史特林引擎初期實施中，只允許基本模型，但在教學反饋中，學生反應他們想自己設計。加入自我設計的選項後，作者發現選擇自行設計的小組數量逐年增加。最初，介紹引擎原理和成功操作這兩個因素各佔 50%。學生們認為，引擎運轉成功與否往往是由不同助教帶領的實驗決定的。作者將引擎是否成功運轉的權重降低到 20%，並將較多的權重集中在學生的參與上。修正後的反饋分數明顯提高。這證實了作者研發的數字分析模型(詳述如後)可以深入分析教學活動對學生的影響。作者利用這種分析來評估一項教學活動是否繼續執行。

作者為實驗科學家，所以一開始在引入程式設計的教學活動很困難。作者首先透過網路資料了解基本概念，並做初級課程編排。作者首先向一位在他校教授程式設計的教授請教基本概念，並請他推薦最新的教學軟體。在設計課程大綱時，作者列出了幾個我想做的課程，然後請一位教計算機概論的同事給予建議。他在這個領域有多年的教學經驗，在討論中幫助我優化了教學大綱和講義。透過它們，我還在國內的會議上認識了幾位理論的專家，作者甚至還

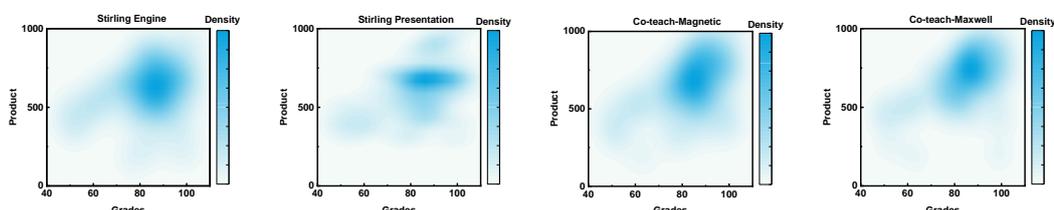
和他們進行研究合作，這有助於提高課程的專業性。

在作者的班上，有近 1/4 的學生來自外系，所以對作者的挑戰是，不是每個學生在學習上都處於同一起跑線。作者使用標準參考評估（CRA）（Glaser (1963)[11]; Weiss (1981)[12]）方法。在學期中，作者實際實施對專業性要求較高的教學活動，按照統計方法分析今年和去年 1/4 的外系學生的 CRA 反饋，看看 CRA 的使用是否有效地提高了跨學科學生的學習效果，事後發現 CRA 的採用是正面的。

6. 建議與省思(Recommendations and Reflections)

計畫主持人提出使用多元學習的教學理念並執行在艱澀的工程必修課以符合現今 e 世代學子的學習行為，並透過統計手段分析各式教學活動在課堂的執行成效。

如圖三，整體而言，學生學業表現（即 X1）對應特定教學活動（即 X1Y1）及其評分方式之滿意度（即 X1Y2）兩者呈高度相關，樣本均集中分佈於第一象限，顯示多數學習表現較佳的學生不但認同此教學理念，也對其評分方式感到滿意，符合作者最初設計多元教學課程之用意。結論是可透過此統計分析技術對教學活動及其評分方式進行滾動式修正，進而合理化教學方式及評分機制，最終達成學生不但認同此多元教學模式、同時滿意其評分方式，達成學習成效提升之目的。



圖三、學生對於特定教學活動滿意度對該名學生分數之乘積（縱軸）與該名學生分數（橫軸）之密度圖，四個教學活動項目同圖五/圖六。

二. 參考文獻(References)

[1]. Blumenfeld, P. C., Soloway, E., Marx, R. W., Krajcik, J. S., Guzdial, M., & Palincsar, A.

“Motivating project-based learning : Sustaining the doing, supporting the learning. *Educational Psychology*”, 26, 369-398 (1991).

[2]. Thomas, J. W., Mergendoller, J. R., & Michaelson, A. “Project-based Learning: A Handbook for Middle and High School Teachers”. Novato, CA: The Buck Institute for Education.” (1999).

[3]. Rosenberg, J. ”The TPACK Framework”, (2018).

[4]. Mishra, P., & Koehler, M. J., “Teacher knowledge”, *Teachers College Record*, 108, 1017 (2006).

[5]. Wolf, M. A. “Culture shift: teaching in a learner-centered environment powered by digital learning. Digital Learning Series, *Alliance for Excellent Education, Washington, DC* (2012).

[6]. Ryan, R and Deci, E. “Intrinsic and extrinsic motivations: classic definitions and new directions”. *Contemporary Educational Psychology*, 25, 54-67 (2000).

[7]. Miller, G. A., & Gildea, P. M. “How children learn words”, *Scientific American*, 257, 94-99 (1987).

[8]. Brown, J. S., Collins, A., & Duguid, P. “Situated cognition and the culture of learning”, *Educational Researcher*, 18, 32-42 (1989).

[9]. Ahlfeldt, S., Mehta, S., & Sellnow, T. ”Measurement and analysis of student engagement in university classes where varying levels of PBL methods of instruction are in use”. *Higher Education Research & Development*, 24, 5-20 (2005).

[10]. DeMonbrun, M., Finelli, C. J., Prince, M., Borrego, M., Shekhar, P., Henderson, C., & Waters, C. “Creating an instrument to measure student response to instructional practices”. *Journal of Engineering Education*, 106, 273-298 (2017).

[11]. Glaser, R. "Instructional technology and the measurement of learning outcomes". *American Psychologist*. 18, 519–522 (1963).

三. 附件(Appendix) (請勿超過 10 頁)

與本研究計畫相關之研究成果資料，可補充於附件，如學生評量工具、訪談問題等等。